

丸竹材の曲げ加工及び接合技術に関する研究

寒竹慎一・小谷公人・阿部 優
別府産業工芸試験所

Study on the Bending Processing and Joining Technology of the Bamboo Culm

Shinichi KANTAKE, Kimito KOTANI, Masaru ABE
Beppu Industrial-Art Research Division

要旨

本研究では、直径3cmのマダケ丸竹材を曲げることを目的に研究に取り組んだ。丸竹材の曲げ実験を行うにあたり、まず竹材の軟化温度を把握する必要がある。平材を用いて軟化温度測定を行った結果、竹材軟化には、90℃以上の熱源が必要であると分かった。今回の実験においては、熱源として高圧蒸気を用いることとした。実験の結果、0.3MPsで10分間の高圧蒸気処理を行った丸竹材は、曲率半径300mmの曲げ加工が可能であることが分かった。丸竹材の接合技術に関する研究においては、従来の工芸的接合法から脱却するため、直径約4.5cmと6.5cmの丸竹材を簡易に接合するための接合部モデルの試作開発を行った。

1. はじめに

自然志向や環境安全性への要求が、竹材の多様な利用を促している。これまでの一般的な食器や茶花道具などインテリア小物に加えて、近年、ファッション装身具やバッグなどで、竹素材を用いた商品が増加している。住空間、福祉機器など人と接する物は、自然素材でという社会的ニーズも高まっており、部材としての利用相談もこれまで以上に増加傾向にある。これらの傾向は、竹材が人に優しい・環境に負荷を与えない自然素材であるとともに、竹の形状つまり美しい表皮質と節のある丸竹を利用する用途のものが多い。これらの特性を生かすためには、曲げ加工や新接合法などによるデザイン提案を求められているが、現状技術では、加工方法が確立されていないのが現状である。このような現状から本研究では、丸竹材の需要拡大を図るため、曲げ加工技術と接合部モデルの試作開発を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 竹材軟化温度測定

2.1.1 供試竹材

供試竹材は、大分県産マダケ（胸高直径6cm前後）竹齢3～5年で、水酸化ナトリウム水溶液（0.02～0.04%）により20～30分煮沸処理を行い脱脂した気乾材を使用した。試験片は地上高2mの部位で採取し、節部は除いた。繊維方向長さ25cmで幅10mm（w10）、幅15mm（w15）の2種類で、各厚みの異なるt0（厚み約5.5mm）、t1（厚み約3.6mm）、t2（厚み約1.8mm）の3タイプとし、試験片各10

本を用意した。

2.1.2 竹材軟化温度測定

試験片中央部内皮側に50mmの幅でガスの炎（約460℃）を当て、試験片中央を支点とし両端に上部より人力により力を加え材が90°まで曲がる時の温度を材の軟化温度とし、軟化した時点の竹材表面温度を放射温度計IT-340（堀場製作所製）を用いて測定した。

2.2 丸竹曲げ実験

2.2.1 供試竹材

供試竹材は、大分県産マダケ材（胸高直径約3cm）竹齢3～5年で、水酸化ナトリウム水溶液（0.02～0.04%）により20～30分煮沸処理を行い脱脂した気乾材を使用した。試験片は地上高約40cm～200cmの部位で採取し、繊維方向長さ約160cm、直径約3cmとした。

2.2.2 高圧蒸気処理

ボイラー（石川島播磨重工業製）で蒸気を発生させ、それに連結する圧力釜に蒸気を流入させる。その際、圧力弁で圧力調整を行い0.3MPs一定とし、約10分の処理を行う。釜の内部温度は約130℃。

2.2.3 充填材

丸竹材の曲げ加工を行う場合、竹材は中空であるがゆえ座屈が生じる。座屈防止のため、竹材の節部にある隔壁を取り除き中空部になんらかの充填材を充填する必要がある。また、曲げ加工は、丸竹材を高圧蒸気処理し、圧力釜から取り出した後ただちに曲げ治具固定を行うが、固定作業の際、室温で作業を行うため処理材は急速に冷却が始まる。冷却が始まると軟化状態にあった材が徐々

に硬くなるため、素早く作業を行わねばならない。こうしたことから、充填材は少しでも保温効果があるものが望ましい。本実験においては、粒度 500 μ の砂と直径 2mm 前後の銅粒の 2 種類を用いて、どちらが充填材として適しているか比較実験を行った。実験方法は、供試丸竹材に砂と銅粒を個々に充填したものに高圧蒸気処理を行い、圧力釜より取り出した後の竹材表面温度変化を放射温度計を用いて測定した。なお、測定時の室温は 11 $^{\circ}$ C、湿度は 35%RH であった。

2.2.4 曲げ治具及び固定

曲率半径 260mm と 300mm の 2 種類の木製治具を用いた。竹材に接する治具面は竹材の曲面に合わせて曲面加工を施したものを使用した。固定方法は、クランプによる締め込みで行い、冷却時間は室温で 6 時間とした。

3. 結果及び考察

3.1 竹材軟化温度

竹材軟化温度測定結果をTable 1に示す。内皮側からの一方向加熱のため内皮側と表皮側の温度差が生じた。材の厚みが増すにつれ表皮側と内皮側の温度差が顕著になる。表皮側の温度を上昇させ竹材軟化域まで移行させるためには、必然的に内皮側の温度をより上昇させる必要がある。しかし、軟化優先で熱をかけ過ぎると、材に焼け焦げや変色を生じさせ美観を損なう。このような結果から、竹材を軟化させるためには、均一に竹材全体を加熱する必要があり、軟化温度は90~125 $^{\circ}$ Cが適性であることが分かった。

Table 1 竹材軟化温度測定結果 (平均値)

	表皮側温度 ($^{\circ}$ C)	内皮側温度 ($^{\circ}$ C)	温度差 ($^{\circ}$ C)
w10-t0	74.0	123.6	49.6
w10-t1	68.6	111.7	43.1
w10-t2	92.3	101.7	9.4
w15-t0	79.8	110.0	30.2
w15-t1	72.7	111.6	38.9
w15-t2	91.0	95.0	4.0

3.2 丸竹材曲げ実験結果

3.2.1 充填材の比較結果

充填材の保温比較の結果をFig.1に示す。グラフが示すように、圧力釜から取り出した試験片は、共に急激な温度低下をみせる。銅粒を充填した試験片は、圧力釜より取り出した直後の表面温度が93 $^{\circ}$ Cで、3分後には76 $^{\circ}$ C、5分後には69 $^{\circ}$ Cであった。砂を充填した試験片は、取り出し直後の表面温度は94 $^{\circ}$ Cで、3分後には74 $^{\circ}$ C、5分後には6

6 $^{\circ}$ Cであった。わずか3分で20 $^{\circ}$ Cの温度低下が共に認められた。双方の比較においては、銅粒の方がやや保温性に富むが性能的には同等と判断して良い。保温性の向上には、充填材の選別よりも、作業雰囲気や治具、あるいは抜本的に加工法を検討する必要がある。

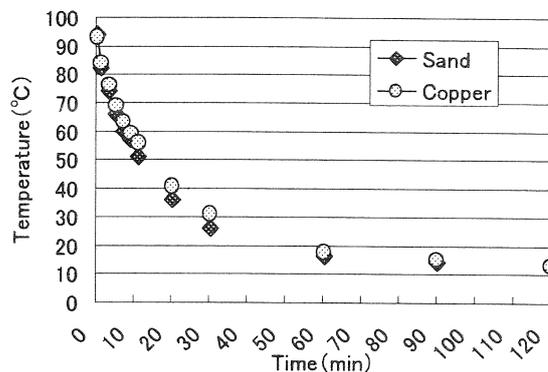


Fig.1 Surface temperature change

3.2.2 曲げ加工実験

今回の実験は、曲率半径260mmと300mmの2種類の曲げ治具を用いて実験を行った。曲率半径260mmの治具を用いた場合、全ての試験片において曲げ加工中に引っ張り側の繊維破断及び圧縮側の座屈が生じた。Fig.2, Fig.3に示す。このことから、高圧蒸気処理を行った直径約3cm丸竹材については、曲率半径260mmで曲げ加工を行うことが不可能であることが分かった。

曲率半径300mmの治具を用いた場合は、圧縮側の座屈が多少生じたが、Fig.3のような割裂は生じなかった。また、引っ張り側の繊維破断も全く発生していない。曲げ治具固定をFig.4に、曲げ加工終了状態をFig.5に示す。以上のことから、高圧蒸気処理を行った直径約3cm丸竹材については、曲率半径300mmで曲げ加工を行うことが可能であることが分かった。

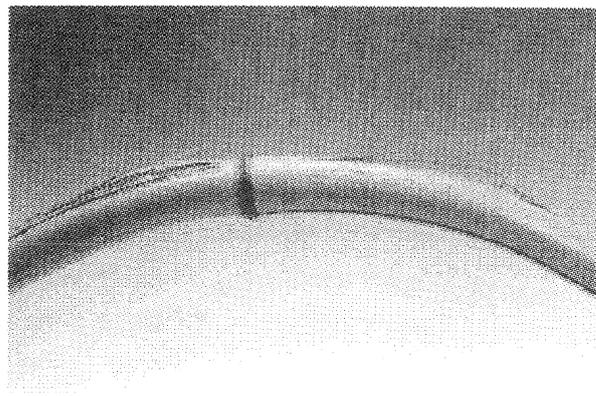


Fig.2 引っ張り側の繊維破断

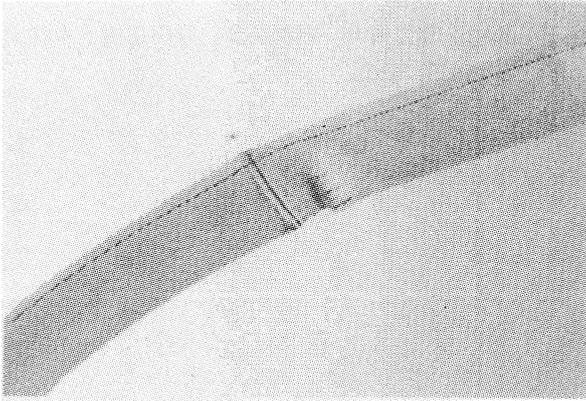


Fig.3 圧縮側の座屈

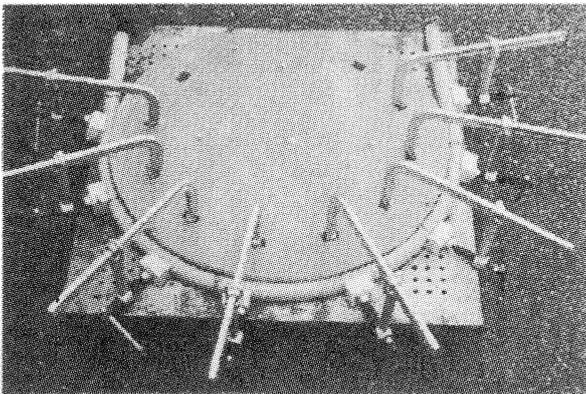


Fig.4 クランプによる治具固定

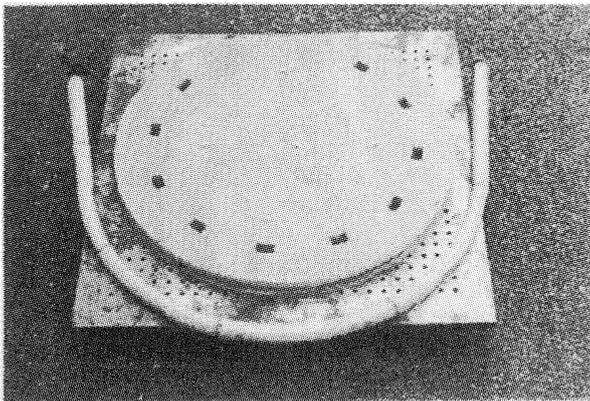


Fig.5 曲げ加工終了

4. 接合部モデルの開発

4.1 既存技術の問題点抽出

丸竹接合の開発を行うにあたり、既存の丸竹接合法の調査を行い問題点の抽出を行った。大径竹と小径竹の仕口接合をFig.6に示す。大径竹側に小径竹と同じ直径の穴あけ加工を行う。その穴に小径竹を挿入した後、大径竹の側面から竹釘もしくは金属釘を打ち込んだだけの簡易な方法である。竹稈に穴あけ加工を行うことは材強度の低下¹⁾を招き、接合強度の信頼性も低い。

次に、木栓を用いた継手・仕口のダボ接合をFig.7に示

す。継手接合の場合、同径の竹を用いて接合を行うが、竹材を半径方向に切断した形状は、真円ではなく不定形であり同じ断面形状のものは存在しない。よって、異なる形状のものを突合せて接合すると、表皮面には凹凸が生じる。また、挿入するダボは竹の内面形状に合わせて個々に加工する必要がある。仕口接合においては、A材とB材が接する面の曲面加工が必要となる。先に述べたように竹の形状は不定形であり、A材の曲面形状に合わせた加工をB材に施さなければならない。非効率な加工工程を強いられる。以上のことから、既存の接合技術においては、加工性及び接合強度の信頼性に問題があることが分かった。

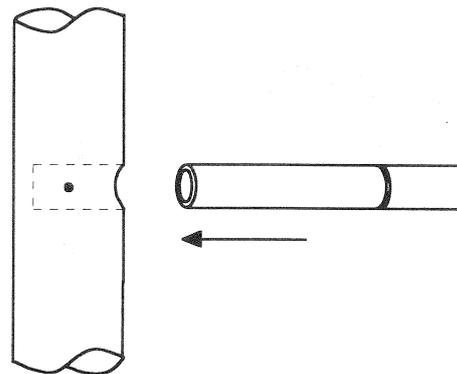


Fig.6 大径竹と小径竹の仕口接合

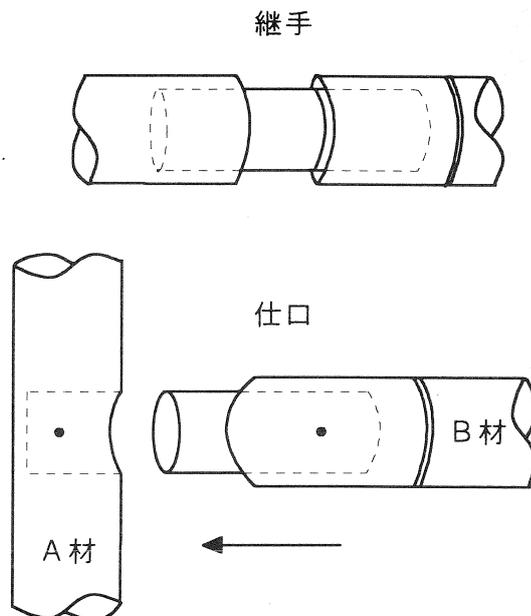


Fig.7 ダボ接合

4.2 接合部モデルの試作開発

工業的利用を目指して、以下のような点を考慮しながら、直径約4.5cm・6.5cmの丸竹を接合する接合部モデル

の試作開発を行った。

1. 丸竹材の強度を低下させるスリット加工・穴あけ加工¹⁾は避ける。
2. 強度のある接合部材とする。
3. 脱着組み立てが簡易であること。

完成した接合部モデルをFig.8, Fig.9に示す。材質は、錆びにくく強度のある金属（ステンレス）を用いた。丸竹材側にはオス型、接合部はメス型として、脱着が簡易に行えるようにした。なお、丸竹材にオス型金具を取り付ける際、木口の形状を整えるため表皮側の切削加工を行った。

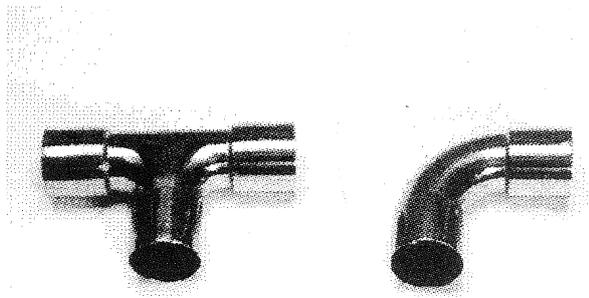


Fig.8 接合部モデル

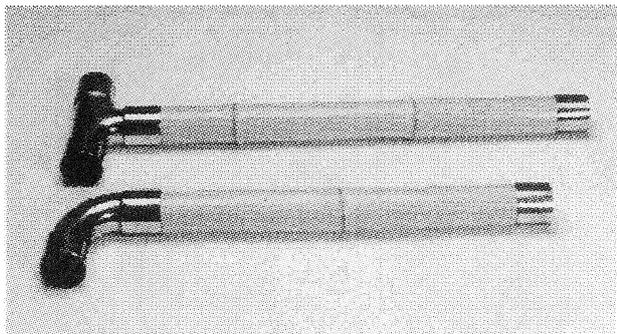


Fig.9 接合部モデル

5. まとめ

丸竹材の曲げ加工実験結果より、以下のことが明らかになった。

- (1) 竹材軟化（平材）には、90℃以上の熱源が必要である。
- (2) 充填材（砂・銅粒）の違いによる保温性の差は認められなかった。
- (3) 0.3MPsで10分間の高圧蒸気処理を行った丸竹材は、曲率半径300mmの曲げ加工が可能である。

今回開発した接合部モデルについては、木口の真円化加工が必要であった。量産化、商品化を目指すには、木口の標準化を行うための加工機械開発が必要である。また、接合部材の材質についてもコスト面からの再検討の必要があり、今後の課題として取り組んでいきたい。

参考文献

- 1) 林 知行, 寒竹慎一, 軽部正彦, 原田正樹: 木材工業, 54, 9 (1999) 420.